

Métodos metaheurísticos aplicados a procesos de gestión en una empresa

German Dupuy¹, Natalia Stark¹, Cintia Ayala, Fernando Sanz Troiani²,

Hugo Alfonso¹, Gabriela Minetti¹, Carolina Salto¹

Laboratorio de Investigación en Sistemas Inteligentes (LISI)

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Pampa

Calle 110 Esq. 9 (6360) General Pico - La Pampa - Rep. Argentina

Te. / Fax: (02302) 422780/422372, Int. 6302

e-mail: ¹{minettig, saltoc, alfonsoh@ing.unlpam.edu.ar}, ²fstnando@gmail.com

Resumen Los problemas reales que enfrentan a diario los encargados de las áreas de administración de operaciones y logística son por lo general de gran complejidad, ante todo debido a que la cantidad de soluciones posibles o el espacio de búsqueda es muy grande, y explorarlo exhaustivamente para encontrar la solución óptima suele ser imposible con la tecnología actual. Este hecho ha impulsado el desarrollo de técnicas no convencionales de optimización, como las metaheurísticas, que permiten encontrar soluciones aceptables en un tiempo de cómputo razonable con la incorporación de ideas innovadoras, comúnmente inspiradas en la naturaleza. Es decir, se proporcionan soluciones para obtener los mayores beneficios con los mínimos costos.

Por tal motivo nuestra propuesta es proporcionar herramientas de software que permitan resolver problemas comunes en la mayoría de las empresas de la región en el sector productivo y en la logística de las mismas. Nuestros resultados permitirán disponer de herramientas útiles para la asignación de recursos limitados a tareas en el tiempo (secuenciamiento), la planificación de recorridos, la localización de depósitos, el diseño de distribuciones en plantas, entre otros. En definitiva se apunta a los distintos procesos estratégicos de gestión de una empresa.

Palabras claves: Metaheurísticas, optimización combinatoria, planificación de tareas, enfriamiento simulado, búsqueda local iterada.

Contexto

Los desarrollos de esta línea de investigación se enmarcan en los proyectos de investigación “Resolviendo problemas complejos con técnicas metaheurísticas avanzadas” y PICTO-UNLPam 2011-0278. Ambos proyectos son dirigidos por la Dra. Carolina Salto y llevados a cabo en el Laboratorio de Investigación de Sistemas Inteligentes (LISI), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa. Los integrantes de este laboratorio mantienen desde hace varios años una importante vinculación con investigadores de la Universidad Nacional de San Luis (Argentina) y de la Universidad de Málaga (España), con quienes se han realizado varias publicaciones conjuntas.

Introducción

El mercado actual exige a las organizaciones de todo el mundo la optimización de sus recursos. Por lo tanto los administradores deben tomar medidas urgentes, y con visión a futuro, relacionadas a aspectos como la optimización de los procesos y recursos y el tratar de anticiparse a las tendencias del mercado. El primero es quizás el más sencillo de interpretar, mientras que el segundo es el más complejo, ya que la creatividad debe anteponerse a la racionalidad e imaginar cuales serán las tendencias futuras.

En este sentido es importante cambiar un concepto erróneo en los administradores de empresas: no toda reducción de gastos es útil e imperativa. Cuando es necesario reducirlos, a lo que todo

administrador siempre recurre es a eliminar los gastos en la administración (como por ejemplo el café de los empleados) o los costos en Comercialización (reducir las pautas publicitarias) o a reducir el número de empleados. En estos casos los efectos serán mínimos y probablemente con efectos secundarios negativos para la organización en la aplicación de esta gestión de costos. Pero qué pasaría si se redujera un pequeño porcentaje en los costos del sector de Producción, que es donde se acumula la mayor parte de los gastos e inversiones de la empresa. Es esto lo que muchos gerentes no analizan y recortan gastos poco efectivos.

En consecuencia, optimizar la cadena de producción, eliminar los costos por tiempos perdidos, adecuar la configuración de la planta fabril, son sólo algunos puntos para optimizar el proceso productivo y reducir los costos. En este planteo aparecen numerosos problemas de optimización de compleja resolución debido a varias causas, entre ellas: (1) las dimensiones de dichos problemas cuando se tratan de abordar en entornos industriales y reales, (2) el carácter combinatorio de muchos de ellos y (3) la naturaleza del objetivo que trata de responder adecuadamente y a la vez, a criterios vinculados a la eficiencia del sistema, sus costos de explotación y distribución, además de, los tiempos de recepción, ejecución y entrega de materiales, servicios y productos.

En las últimas décadas muchos de estos problemas vinculados a la producción y a la logística han sido tratados con éxito con técnicas de resolución basadas en metaheurísticas [1], [2]. Dichas técnicas forman parte de una potente y vasta caja de herramientas para tratar de manera muy adecuada problemas de optimización en el marco de las operaciones productivas y logísticas.

El objetivo que se persigue con el desarrollo de este proyecto de investigación está relacionado a la aplicación de metaheurísticas a problemas de optimización relativos a la producción y la logística, entre ellos podemos mencionar: previsión de la demanda, planificación de operaciones, programación de operaciones (secuenciación y temporización -scheduling-), distribución física de materiales y productos (localización y ruteo), diseño de distribuciones en plantas (talleres, líneas y células), diseño del producto y del proceso, entre

otros. Como resultado se asiste al administrador de una empresa con herramientas de soporte para la toma de decisiones relacionadas a la gestión de sistemas productivos y logísticos en ambientes complejos y cambiantes.

Michalewicz et al. en [3] proveen un buen punto de partida para la resolución de este tipo de problemas con técnicas de optimización, ya que ofrecen una visión general muy interesante sobre las técnicas de optimización, explicando los principios detrás de muchos métodos de predicción y técnicas de optimización en términos simples, por lo que cualquier gerente de negocios podría entender. Por otra parte presentan ejemplos de aplicabilidad a problemas empresariales del mundo real (planificación, estrategias de inversión, entre otros). Otros textos claves con ejemplos que ilustran la aplicación de metaheurísticas a problemas de optimización real en varios ámbitos son los siguientes: [4], [5], [6], [7].

Desarrollo

Este proyecto inicia con el análisis y desarrollo de técnicas para la planificación de la producción, dado que es un proceso crítico para la toma de decisiones en el nivel operacional de una organización productiva. Se puede definir como la asignación de tareas a recursos de producción disponibles y luego secuenciarlas en cada recurso en el tiempo de una manera eficiente. Tal problema de programación ocurre con frecuencia en el ámbito industrial y es conocido en su forma más simple como *flowshop*. Este problema es difícil de resolver debido a su naturaleza combinatoria [8], [9].

En particular, nuestro trabajo se centra en una variante del *flowshop* donde existen varias etapas en la producción con múltiples máquinas (idénticas o no) por etapa, también cabe la posibilidad de que algún trabajo no necesite ser procesado en algunas de las etapas. Esta variante se conoce como problema de *flowshop flexible híbrido* (*hybrid flexible flowshop problem*, HFFSP). Además, en varias industrias (farmacéutica, metalúrgica, automotriz, entre otras) se consideran tiempos de puesta a punto (*setup*) de las máquinas entre dos trabajos diferentes, los cuales aportan mayor dificultad a los problemas de planificación de la producción.

Estos tiempos de setup pueden o no depender de la secuencia. Considerando estas restricciones, el problema tratado es el HSSFP con tiempos de setup dependientes de la secuencia (*sequence dependent setup time*, SDTS/FSSFP), cuyo objetivo es minimizar el tiempo de finalización.

El problema SDST/HFFS no ha sido ampliamente estudiado en la literatura. Sin embargo, se han propuesto algunas heurísticas [10] y metaheurísticas tal como algoritmos genéticos [11], [12], un sistema inmune [13], un algoritmo de búsqueda local iterada [14], entre otros. Nuestra propuesta consiste en el desarrollo de algoritmos metaheurísticos basados en trayectoria para resolver el problema SDST/HFFS. En una primera etapa se presentan dos variantes del algoritmo de enfriamiento simulado (SA), donde se analizan dos operadores de movimiento para generar el vecindario del estado actual, a fin de determinar cuál de los dos permite una mejor exploración del espacio de soluciones del SDST/HFFS, ya que este operador tiene un fuerte impacto en la efectividad del método. Luego, se formula una mejora al algoritmo de búsqueda local iterada (ILS) propuesto por Naderi et al. [14]. Con el fin de evaluar nuestro aporte, estas propuestas algorítmicas se comparan con algoritmos que representen el estado del arte para el SDST/HFFS.

Resultados obtenidos/esperados

El llevar a cabo nuestra propuesta dio origen a tres algoritmos para resolver el problema NP-duro SDST/HFFS: SAint, SAins e ILSint [15]. En los dos primeros casos se trata de dos versiones de SA que utilizan los operadores de intercambio e inserción, respectivamente, para generar soluciones vecinas. En tanto que, ILSint resulta de una mejora realizada al ILS presentado en [14] y renombrado como ILSins. Esta mejora consiste en modificar el operador de la búsqueda local, es decir, se reemplazó el operador de inserción usado en ILSins por el de intercambio.

Del análisis de los resultados obtenidos por estos cuatro algoritmos, en primer lugar se desprendió que las técnicas que usan el operador de intercambio realizan una explotación mucho

más eficaz del espacio de búsqueda que al aplicar el operador de inserción. La razón principal de esto es la gran disrupción que genera el operador de inserción en las soluciones. En segundo lugar, se determinó con sustento estadístico, que los algoritmos basados en ILS obtuvieron soluciones de mejor calidad que los basados en SA y el esfuerzo computacional para lograrlo fue significativamente menor. Por último, es importante destacar que la versión de ILS propuesta en este trabajo obtuvo los mejores resultados empleando el menor esfuerzo computacional en un alto porcentaje de los casos de prueba.

Formación de recursos humanos

La capacitación de los integrantes del proyecto es constante. Se han realizado diversos cursos de posgrado cuya temática está relacionada con el proyecto, a fin de reunir créditos para cursar carreras de posgrado en un futuro cercano. Además, se trabaja con alumnos avanzados en la carrera Ingeniería en Sistemas en temas relacionados a la resolución de problemas de optimización usando técnicas inteligentes, con el objeto de guiarlos en el desarrollo de sus tesis de grado y, también, de formar futuros investigadores.

REFERENCES

- [1] C. Blum and A. Roli, "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison," *ACM Computing Surveys*, vol. 35, no. 3, pp. 268–308, 2003.
- [2] E. Talbi, *Metaheuristics: from Design to Implementation*. Wiley, 2009.
- [3] Z. Michalewicz, M. Schmidt, M. Michalewicz, and C. Chiriac, *Adaptive Business Intelligence*. Springer, 2006.
- [4] E. Alba, C. Blum, P. Asasi, C. Leon, and J. Gomez, Eds., *Optimization Techniques for Solving Complex Problems*. Wiley, 2009.
- [5] D. Dasgupta and Z. Michalewicz, Eds., *Evolutionary Algorithms in Engineering Applications*. Springer, 1997.
- [6] M. Gen and C. Runwei, *Genetic Algorithms and Engineering Design*. Wiley, 1997.
- [7] K. W. Hans-Paul Schwefel, Ingo Wegener, Ed., *Advances in computational intelligence: theory and practice*. Springer Verlag, 2003.
- [8] E. Coffman and J. Bruno, *Computer and job-shop scheduling theory*. John Wiley & Sons, New York, 1976.

- [9] A. R. Kan, *Machine Scheduling Problems: Classification, complexity and computations*. Martinus Nijhoff, The Hague, 1976.
- [10] M. Kurz and R. Askin, "Comparing scheduling rules for flexible flow lines," *International Journal of Production Economics*, vol. 85, no. 3, pp. 371–388, 2003.
- [11] M. Kurz and R. Askn, "Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times," *European Journal of Operational Research*, vol. 159, no. 1, pp. 66–82, 2004.
- [12] A. Sioud, M. Gravel, and C. Gagne, "A genetic algorithm for solving a hybrid flexible flowshop with sequence dependent setup times," in *Evolutionary Computation (CEC), 2013 IEEE Congress on*, June 2013, pp. 2512–2516.
- [13] M. Zandieh, S. F. Ghomi, and S. M. Hussein, "An immune algorithm approach to hybrid flow shops scheduling with sequencedependent setup times," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 180, no. 1, pp. 111–127, 2006.
- [14] B. Naderi, R. Ruiz, and M. Zandieh, "Algorithms for a realistic variant of flowshop scheduling," *Computers & Operations Research*, vol. 37, no. 2, pp. 236 – 246, 2010.
- [15] G. Minetti and C. Salto, "tÁ©cnicas metaheurísticas para resolver una variante de aplicación industrial del problema de flowshop," in *Actas del 2Â° Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información, CoNaIISI 2014*", D. Riesco, G. Montejano, F. Piccoli, and A. Bursztyn", Eds. Universidad Nacional de San Luis, 2014, pp. 247–254.